



MAT-3067



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 199 36 081 A 1

21 Aktenzeichen: 199 36 081.2
22 Anmeldetag: 30. 7. 1999
43 Offenlegungstag: 8. 2. 2001

51 Int. Cl.⁷:
H 01 L 21/324

H 01 L 31/18
H 01 L 31/032
H 01 L 31/0392
B 32 B 15/04
B 32 B 17/06

Handwritten notes:
6. 7/17/12
4/6/04
7/31/2000

DE 199 36 081 A 1

71 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:
Probst, Volker, Dr.-Ing., 81547 München, DE

56 Entgegenhaltungen:

DE 197 11 702 C1
DE 195 44 525 A1
US 59 26 742 A
US 58 61 609 A
EP 09 26 719 A2
EP 03 99 662 A2
JP 57-1 83 041 A
JP 07-78 830 A

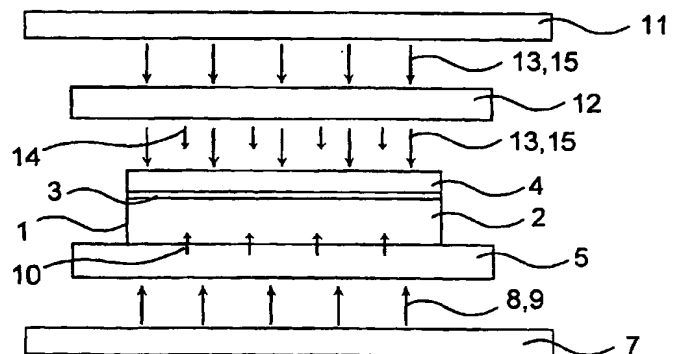
Jap. J. Appl. Phys., Bd. 35, Part 1, No. 3,
1996, S. 1681-1684;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Vorrichtung und Verfahren zum Temperieren eines Mehrschichtkörpers, sowie ein unter Anwendung des Verfahrens hergestellter Mehrschichtkörper

57 Es wird ein Verfahren zum Temperieren großflächiger Mehrschichtkörper durch Zuführung einer Energiemenge mit einer Temperierate von mindestens 1 C/s vorgestellt. Zur Unterbindung von Temperaturinhomogenitäten während des Temperierens werden den Schichten des Mehrschichtkörpers mit einer örtlichen und zeitlichen Auflösung unterschiedliche Teilmengen der Energiemenge zugeführt. Der Mehrschichtkörper wird in einem Behälter temperiert, der einen Boden und einen Deckel aus Glas- keramik aufweist. Das Verfahren wird zur Herstellung eines Dünnsolarmoduls angewendet.



DE 199 36 081 A 1

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Temperieren eines Mehrschichtkörpers, der eine erste und mindestens eine zweite Schicht aufweist, durch Aufnahme einer Energiemenge durch den Mehrschichtkörper mit einer Aufnahme einer ersten Teilmenge der Energiemenge durch die erste Schicht und einer Aufnahme einer zweiten Teilmenge der Energiemenge durch die zweite Schicht, aufweisend mindestens eine Energiequelle. Eine derartige Vorrichtung ist beispielsweise aus EP 0 662 247 B1 bekannt. Neben der Vorrichtung wird ein zum Temperieren eines Mehrschichtkörpers und ein unter Anwendung des Verfahrens hergestellter Mehrschichtkörper vorgestellt.

Ein Mehrschichtkörper wird beispielsweise dadurch hergestellt, daß auf eine Trägerschicht (Substrat) eine funktionelle Schicht aufgebracht wird. Damit die funktionelle Schicht und/oder die Trägerschicht eine gewünschte physikalische (elektrisch, mechanisch, etc.) und/oder chemische Eigenschaft aufweist, muß unter Umständen eine Prozessierung des Mehrschichtkörpers bzw. der Schicht und/oder der Trägerschicht durchgeführt werden. Die Prozessierung beinhaltet beispielsweise ein Temperieren des Mehrschichtkörpers in Gegenwart eines Gases (Prozeßgas).

Ein Mehrschichtkörper ist beispielsweise eine flächige Dünnsolarzelle, bei der eine Elektrodenschicht aus Molybdän und eine funktionelle Kupfer-Indium-Diselenid (CIS)-Halbleiterschicht auf einer Trägerschicht aus Glas aufgebracht sind. Diese Dünnsolarzelle wird gemäß EP 0 662 247 B1 in einem Zweistufenprozeß hergestellt. In einer ersten Stufe werden der Reihe nach folgende Elemente in Schichtform auf die Trägerschicht aus Glas aufgebracht: Molybdän, Kupfer, Indium und Selen. Der so erhaltene Mehrschichtkörper wird in einer zweiten Stufe temperiert, wobei sich die Kupfer-Indium-Diselenid-Halbleiterschicht ausbildet.

Zum Temperieren wird der Mehrschichtkörper in einem geschlossenen Behälter aus Graphit angeordnet. Während des Temperierens bildet sich im Behälterinneren ein bestimmter Partialdruck gasförmigen Selen aus, wobei die auf dem Glas aufgetragenen Schichten mit dem gasförmigen Selen in Kontakt stehen.

Beim Temperieren nimmt der Mehrschichtkörper eine Energiemenge auf, wobei jeder Schicht eine Teilmenge der Energiemenge zugeführt wird. Das Temperieren erfolgt beispielsweise mit einer Aufheizrate von 10°C/s. Als Energiequelle der Energiemenge wird eine Halogenlampe benutzt. Mit der Halogenlampe wird der Behälter aus Graphit bestrahlt und somit der Behälter aufgeheizt. Ein derartiger Vorgang ist besonders effizient, da Graphit als quasi "Schwarzer Strahler" ein hohes Absorptionsvermögen für elektromagnetische Strahlung aufweist, insbesondere für Strahlung im Spektralbereich der Halogenlampe. Die durch das Graphit absorbierte Energiemenge wird durch Wärmestrahlung und/oder Wärmeleitung dem Mehrschichtkörper zugeführt. Der Behälter fungiert somit als sekundäre Energiequelle bzw. als Energietransmitter.

Graphit weist ein hohes Emissionsvermögen und eine hohe Wärmeleitfähigkeit auf. Bei Aufliegen des Mehrschichtkörpers auf einem Boden des Behälters erfolgt die Zufuhr der Energiemenge auf einer Unterseite des Mehrschichtkörpers im wesentlichen durch Wärmeleitung. Einer Oberseite des Mehrschichtkörpers her wird eine Energiemenge durch Wärmestrahlung zugeführt.

Aufgrund eines unsymmetrischen Schichtaufbaus des Mehrschichtkörpers und/oder einer unterschiedlichen Zuführung der Energiemenge auf die Ober- und Unterseite des Mehrschichtkörpers kann es bei einer hohen Aufheizrate zu

einem inhomogenen, d. h. ungleichmäßigen Temperieren der Schichten des Mehrschichtkörpers kommen. Es kann sich in Dickenrichtung des Mehrschichtkörpers eine Temperaturinhomogenität ausbilden, die bei einem Temperaturausdehnungskoeffizienten eines Materials einer Schicht, der von Null verschieden ist, innerhalb der Schicht und/oder des Mehrschichtkörpers zu einer mechanischen Spannung führen kann. Diese mechanische Spannung kann einen Riß oder einen Bruch der Schicht und/oder des Mehrschichtkörpers nachsichziehen. Die mechanische Spannung kann auch zu einer Verformung (Verwerfung) des Mehrschichtkörpers führen. Die Verformung ist bei einer Trägerschicht aus Glas im allgemeinen transient, d. h. nach dem Temperieren bildet sich die Verformung zurück. Die Verformung kann auch permanent sein. Dabei bildet sich die Verformung nicht zurück. Dies ist dann der Fall, wenn ein Erweichungspunkt der Trägerschicht (z. B. aus Glas) während des Temperierens überschritten wird und dabei eine (innere) mechanische Spannung und/oder eine äußere Kraft wirksam wird.

Je großflächiger der Mehrschichtkörper ist und je höher eine Temperierate (Aufheizrate, Abkühlrate) ist, desto schwieriger ist es, während des Temperierens des Mehrschichtkörpers Temperaturinhomogenitäten im Mehrschichtkörper gezielt zu beeinflussen, und desto größer ist eine Wahrscheinlichkeit dafür, daß eine unerwünschte mechanische Spannung auftritt.

Aufgabe der Erfindung ist es, aufzuzeigen, wie während des Temperierens eines großflächigen Mehrschichtkörpers mit einer hohen Temperierate eine Temperaturhomogenität bzw. Temperaturinhomogenität gezielt beeinflußt werden kann.

Zur Lösung der Aufgabe wird eine Vorrichtung zum Temperieren eines Mehrschichtkörpers angegeben, der eine erste Schicht und mindestens eine zweite Schicht aufweist, durch Aufnahme einer Energiemenge durch den Mehrschichtkörper mit einer Aufnahme einer ersten Teilmenge der Energiemenge durch die erste Schicht und einer Aufnahme einer zweiten Teilmenge der Energiemenge durch die zweite Schicht, aufweisend mindestens eine Energiequelle der Energiemenge. Die Vorrichtung ist dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schicht zwischen einer ersten Energiequelle und der zweiten Schicht und die zweite Schicht zwischen einer zweiten Energiequelle und der ersten Schicht angeordnet ist, mindestens eine der Energiequellen eine Emission einer bestimmten elektromagnetischen Strahlung mit einem Strahlungsfeld aufweist, mindestens eine der Schichten eine bestimmte Absorption für die elektromagnetische Strahlung aufweist und in dem Strahlungsfeld angeordnet ist, in dem Strahlungsfeld zwischen der Energiequelle mit dem Strahlungsfeld und der Schicht, die die Absorption der elektromagnetischen Strahlung aufweist und die im Strahlungsfeld angeordnet ist, mindestens ein Transparenzkörper angeordnet ist, der eine bestimmte Transmission und eine bestimmte Absorption für die elektromagnetische Strahlung aufweist.

Die Idee der Erfindung besteht darin, die Schichten des Mehrschichtkörpers individuell aufzuheizen, d. h. die Teilmenge der Energiemenge, die eine Schicht aufnimmt, gezielt zu steuern, zu regulieren und/oder voreinzustellen. Beispielsweise wird eine Energiemenge mit Hilfe eines Regelkreises während des Temperierens bestimmt (siehe unten). Denkbar ist auch, daß eine Voreinstellung der Energiequellen (z. B. Energiedichte, Art der Energie, etc.) ohne einen zusätzlichen Regelkreis ausreicht. Durch die Erfindung ist ein individuelles Aufheizen der Schichten des Mehrschichtkörpers auch bei sehr hohen Aufheizraten von 1°C/s bis beispielsweise 50°C und mehr möglich. Durch das individuelle Aufheizen gelingt es, während des Temperierens eine mechanische Spannungen und eine damit unter Umständen

auf tretende Verformung des Mehrschichtkörpers möglichst klein zu halten.

Basis dafür ist der Transparenzkörper, der optisch teildurchlässig (semitransparent) ist. Durch die Transmission, die beispielsweise bei einer bestimmten Wellenlänge zwischen 0,1 und 0,9 liegt, gelangt die oben beschriebene elektromagnetische Strahlung durch den Transparenzkörper auf eine Schicht. Die Schicht kann eine entsprechende Energiemenge bzw. Teilmenge der Energiemenge aufnehmen, die direkt von der Energiequelle ausgesendet wird.

Der Transparenzkörper weist aber auch eine gewisse Absorption für die elektromagnetische Strahlung auf. Die damit aufgenommenen Energie kann in Form von Wärmestrahlung und/oder Wärmeleitung an eine Umgebung abgegeben werden. In einer besonderen Ausgestaltung verfügt die Vorrichtung zum Temperieren eines Mehrschichtkörpers einen Transparenzkörper, der durch die Absorption der elektromagnetischen Strahlung eine Wärmestrahlung und/oder Wärmeleitung in Richtung des Mehrschichtkörpers aufweist. Somit gelingt es, eine Schicht durch Wärmestrahlung und/oder Wärmeleitung zu temperieren.

Denkbar ist auch, daß eine erste Schicht des Mehrschichtkörpers, die für die Wärmestrahlung eine Transmission zeigt, im wesentlichen nur durch Wärmeleitung temperiert wird, während eine zweite Schicht desselben Mehrschichtkörpers durch die Wärmestrahlung desselben Transparenzkörpers im wesentlichen temperiert wird. Eine erste Schicht mit einer entsprechenden Transmission ist beispielsweise eine Schicht aus Glas. Wenn eine elektromagnetische Strahlung einer Energiequelle und/oder eines Transparenzkörpers auf den Glaskörper trifft, wird ein geringer Anteil der Strahlung (etwa 4%) reflektiert. Der größte Anteil (> 90%) gelangt mehr oder weniger ungehindert durch das Glas und trifft dann auf eine zweite Schicht des Mehrschichtkörpers. Dort kann diese Strahlung absorbiert werden und zu einer Aufnahme einer Energiemenge durch diese zweite Schicht führen. Die Glasschicht kann durch Strahlung bzw. Wärmestrahlung bei einer sehr hohen Aufheizrate nicht ausreichend schnell temperiert werden. Dagegen ist ein relativ schnelles Temperieren durch Wärmeleitung möglich, wenn der Transparenzkörper eine Teilmenge der Energiemenge aufnehmen und auf die Glasschicht übertragen kann.

Denkbar ist auch der Fall, daß der Transparenzkörper selbst eine Schicht des Mehrschichtkörpers ist. Der Transparenzkörper kann durch Absorption eines Teils der elektromagnetischen Strahlung eine Teilmenge der Energiemenge aufnehmen und durch die Transmission eine weitere Teilmenge der Energiemenge zur Aufnahme durch eine weitere Schicht durchlassen.

In einer besonderen Ausgestaltung wird bei dem Verfahren ein Mehrschichtkörper verwendet, bei dem eine Schicht als Trägerschicht für zumindest eine weitere Schicht fungiert. Der Mehrschichtkörper weist insbesondere eine unsymmetrische Schichtfolge auf. Beispielsweise besteht der Mehrschichtkörper aus einer einseitig beschichteten Trägerschicht. Einzelne Schichten des Mehrschichtkörpers können auch nebeneinander angeordnet sein.

In einer besonderen Ausgestaltung weist eine Schicht des Mehrschichtkörpers ein Material auf, das aus der Gruppe Glas, Glaskeramik, Keramik, Metall und/oder Kunststoff ausgewählt ist. Als Kunststoff kommt insbesondere temperaturbeständiger Kunststoff wie Teflon in Frage. Eine Schicht ist beispielsweise eine Metallfolie. Die Metallfolie kann auch als Trägerschicht fungieren.

Die Teilmenge der Energiemenge, die von einer Schicht aufgenommen wird, hängt beispielsweise von einer Absorptions-, Emissions- und/oder Reflexionseigenschaft der Schicht ab. Sie hängt aber auch von der Art der Energie-

quelle ab und von der Art und Weise, wie die Energiemenge auf den Mehrschichtkörper bzw. auf eine Schicht des Mehrschichtkörpers übertragen wird.

Das Temperieren des Mehrschichtkörpers bzw. einer Schicht erfolgt beispielsweise mit Hilfe einer Energiequelle für thermische Energie. Dabei kann der Schicht die thermische Energie direkt zugeführt werden. Hier kommt Wärmestrahlung, Wärmeleitung und/oder Konvektion in Frage. Im Fall der Wärmestrahlung kann die Energiequelle selbst eine Quelle für Wärmestrahlung sein. Die Wärmestrahlung ist beispielsweise elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 0,7 und 4,5 μm (Infrarotlicht). Die entsprechende Schicht ist im Strahlungsfeld der Energiequelle angeordnet. Die Schicht wird von der elektromagnetischen Strahlung der Energiequelle getroffen und absorbiert zumindest teilweise die elektromagnetische Strahlung.

Möglich ist es aber auch, daß einer Schicht eine beliebige Energie zugeführt wird, die in der Schicht in thermische Energie umgewandelt wird. Beispielsweise wird eine Schicht mit hochenergetischem UV-Licht bestrahlt, das die Schicht absorbiert. Durch eine Absorption eines hochenergetischen Lichtquants gelangt ein Molekül der Schicht oder die ganze Schicht in einen elektronisch angeregten Zustand. Eine dabei aufgenommene Energie kann in thermische Energie umgewandelt werden.

Neben Wärmestrahlung und Wärmeleitung ist auch ein Temperieren einer Schicht bzw. des ganzen Körpers durch Konvektion möglich. Dabei wird ein Gas mit einer bestimmten Energie an der Schicht vorbeigeleitet, wobei das Gas die Energie an die Schicht abgibt. Vorbeigeleitetes Gas kann gleichzeitig als Prozeßgas fungieren.

Durch Wärmeleitung und/oder Konvektion kann im übrigen eine Schicht auch gekühlt werden. Dabei wird der Schicht eine negative thermische Energie zugeführt. Auf diese Weise ist es auch möglich, die Energiemengen bzw. die Teilmengen der Energiemengen zu steuern und z. B. die mechanischen Spannungen im Mehrschichtkörper zusätzlich zu beeinflussen.

In einer besonderen Ausgestaltung ist ein Energietransmitter zur Übertragung der Energiemenge auf den Mehrschichtkörper vorhanden. Der Energietransmitter fungiert als sekundäre Energiequelle. Der Energietransmitter absorbiert beispielsweise elektromagnetische Strahlung einer primären Energiequelle, z. B. einer Halogenlampe, aus einem höheren Energiebereich und konvertiert diese elektromagnetische Strahlung in Wärmestrahlung, die von der Schicht absorbiert wird.

Als Energietransmitter kann die mittelbare und/oder unmittelbare Umgebung des Mehrschichtkörpers während des Temperierens fungieren. Denkbar ist, daß ein Energietransmitter mit dem Mehrschichtkörper zum Temperieren in einem Innenraum eines Behälters angeordnet ist. Der Energietransmitter kann auch außerhalb des Behälters, beispielsweise auf einer Wandung des Behälters oder in einem Abstand zum Behälter angeordnet sein. Denkbar ist, daß der Energietransmitter eine Beschichtung des Behälters ist. Der Energietransmitter ist beispielsweise eine Graphitfolie. Der Behälter selbst kann auch selbst die Funktion eines Energietransmitters übernehmen. Eine derartige Funktion ist beispielsweise bei einem Behälter aus Graphit gegeben. Schließlich ist der Transparenzkörper nichts anderes als ein Energietransmitter. Ebenso fungiert ein Gas bei einer Energieübertragung durch Konvektion als Energietransmitter.

Eine Energiemenge, die der Mehrschichtkörper aufnimmt, kann nicht nur von Schicht zu Schicht, sondern auch innerhalb einer Schicht unterschiedlich sein. Beispielsweise tritt während des Temperierens ein Randeffect im Mehrschichtkörper bzw. in einer Schicht eines Mehrschichtkör-

pers auf. Ein Randbereich der Schicht weist eine andere Temperatur auf als ein innerer Bereich der Schicht. Es stellt sich während des Temperierens ein lateraler Temperaturgradient ein. Dies geschieht beispielsweise dann, wenn ein Strahlungsfeld der Energiequelle inhomogen ist. Dabei ist eine Energiedichte des Strahlungsfeldes auf einer Fläche, die von der Strahlung durchstrahlt wird, nicht überall gleich. Ein laterale Temperaturinhomogenität kann sich auch bei einem homogenen Strahlungsfeld einstellen, wenn am Rand einer Schicht aufgrund der größeren absorbierenden Fläche pro Volumeneinheit eine größere Energiemenge pro Volumeneinheit absorbiert wird. Um den Temperaturgradienten auszugleichen, kann beispielsweise eine Energiequelle verwendet werden, die aus einer Vielzahl von Untereinheiten besteht. Jede Untereinheit kann separat angesteuert werden und so jede von einer Untereinheit auf eine Schicht zugeführte Energiemenge separat eingestellt werden. Eine derartige Energiequelle ist beispielsweise ein Array oder eine Matrix aus einzelnen Heizelementen. Ein Heizelement ist beispielsweise eine Halogenlampe. Das Array oder die Matrix kann auch dazu benutzt werden, einen lateralen Temperaturgradienten in der Schicht herzustellen. Dadurch könnte man beispielsweise eine permanente oder transiente Verformung des Schichtkörpers gezielt erzeugen. Insbesondere für die Temperierung eines Mehrschichtkörpers, bei dem Schichten nebeneinander liegen, ist ein Array oder eine Matrix von großem Vorteil.

Bezüglich der Energiequelle ist es vorteilhaft, wenn die Energiequelle bzw. die Energiequellen in einem kontinuierlichen Betrieb arbeiten. Denkbar ist aber auch, daß die Energiequellen in einem Zyklus- und/oder Pulsbetrieb die Energiemenge bzw. die Teilmengen der Energiemenge den Schichten zur Verfügung stellen. Eine derartige Energiequelle ist beispielsweise eine Energiequelle mit gepulster elektromagnetischer Strahlung. Auf diese Weise kann den Schichten zur gleichen Zeit oder in einer zeitlichen Abfolge (z. B. alternierend) eine Energiemenge zugeführt werden.

Folgende Eigenschaften der Energiequelle für elektromagnetische Strahlung sind besonders vorteilhaft:

- Die Energiequelle weist ein homogenes Strahlungsfeld auf.
- Eine spektrale Intensitätsverteilung der Energiequelle überlappt teilweise mit einer spektralen Absorption der Schicht, des Transparenzkörpers und eines eventuell vorhandenen Behälters (siehe unten).
- In Gegenwart eines Prozeßgases ist die Energiequelle korrosionsfest und/oder korrosionsgeschützt.
- Die Energiequelle weist eine hohe Energiedichte auf, die ausreicht, um eine Masse des Mehrschichtkörpers (und eventuell die eines Behälters) mit einer Aufheizrate von über 1°C/s aufheizen zu können.

In einer besonderen Ausgestaltung weist der Transparenzkörper der Vorrichtung mindestens einen Abstandshalter auf, an dem der Mehrschichtkörper anliegt, zur Aufnahme einer lateral homogenen Energiemenge durch den Mehrschichtkörper. Beispielsweise wird der Schicht, über die der Mehrschichtkörper auf dem Transparenzkörper bzw. dem Abstandshalter aufliegt, in erster Linie durch eine homogene Wärmestrahlung temperiert. In dieser Form weist der Abstandshalter vorzugsweise ein Material auf, das eine geringe Absorption für die elektromagnetische Strahlung aufweist. Ein Abstandshalter überragt beispielsweise eine Oberfläche des Transparenzkörpers um einige µm bis mm.

Die auf den Abstandshaltern aufliegende Schicht kann auch in erster Linie durch Wärmeleitung temperiert werden. Dazu Verfügen die Abstandshalter beispielsweise über eine

für eine entsprechende Temperaturrate notwendige thermische Leitfähigkeit. Denkbar ist auch, daß der Abstandshalter für die Energieübertragung durch Wärmeleitung eine hohe Absorption für eine elektromagnetische Strahlung einer Energiequelle aufweist, wobei die elektromagnetische Strahlung effizient in thermische Energie umgewandelt wird.

Insbesondere weist der Transparenzkörper eine Vielzahl von Abstandshaltern auf. Bei einer Vielzahl von Abstandshaltern, die gleichmäßig zwischen der Schicht des Mehrschichtkörpers und dem Transparenzkörper berührend angeordnet sind, kann zusätzlich eine Homogenisierung der lateralen Temperaturverteilung erreicht werden. •

In einer besonderen Ausgestaltung weist der Transparenzkörper und/oder der Abstandshalter ein Material auf, das aus der Gruppe Glas und/oder Glaskeramik ausgewählt ist. Glaskeramik weist verschiedene Vorteile auf:

- Es kann zum Temperieren in einem weiten Temperaturbereich von beispielsweise 0°C bis z. B. 700°C eingesetzt werden. Glaskeramik weist beispielsweise einen Erweichungspunkt auf, der über dem Temperaturbereich liegt.
- Es verfügt über einen sehr niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten. Es ist temperaturschockbeständig und im oben erwähnten Temperaturbereich des Temperierens verwerfungsfrei.
- Es ist gegenüber einer Vielzahl von Chemikalien chemisch inert und weist eine geringe Durchlässigkeit für diese Chemikalien auf. Eine derartige Chemikalie ist beispielsweise das Prozeßgas, dem eine Schicht und/oder der ganze Mehrschichtkörper während des Temperierens ausgesetzt ist.
- Es ist im Spektralbereich vieler Energiequellen für elektromagnetische Strahlung optisch teildurchlässig, insbesondere in einem Wellenlängenbereich, in dem eine Strahlungsdichte der Energiequellen hoch ist. Eine derartige Strahlungsquelle ist beispielsweise eine Halogenlampe mit einer hohen Strahlungsdichte zwischen 0,1 und 4,5 µm.

Glas, insbesondere Quarzglas sind als Material für den Transparenzkörper ebenfalls denkbar. Vorteilhaft daran ist eine hohe Einsatztemperatur von bis zu 1200°C. Diese Materialien zeigen im Spektralbereich einer Energiequelle in Form einer Halogenlampe eine hohe Transmission und eine geringe Absorption. Das Licht tritt im wesentlichen ungehindert durch diesen Transparenzkörper hindurch und gelangt an eine Schicht mit einer entsprechenden Absorption für die elektromagnetische Strahlung, wobei die Schicht eine Energiemenge aufnimmt und erwärmt wird. Der Transparenzkörper wird durch die Strahlung nahezu nicht erwärmt.

In einer Prozeßanwendung ist es möglich, daß Material der erwärmten Schicht verdampft und an einer relativ kalten Oberfläche des Transparenzkörpers abgeschieden wird. Um dies zu verhindern, kann dafür gesorgt werden, daß der Transparenzkörper während des Temperierens auf eine nötige Temperatur erwärmt wird. Dies gelingt durch eine Übertragung einer Energiemenge auf den Transparenzkörper durch Wärmeleitung und/oder Konvektion. Denkbar ist auch eine elektromagnetische Strahlung, die der Transparenzkörper absorbiert. Denkbar ist, daß der Transparenzkörper eine Beschichtung aufweist, die einen bestimmten Teil der elektromagnetischen Strahlung absorbiert. Die dadurch aufgenommene Energie kann an den Transparenzkörper aus Glas oder Quarzglas weitergeleitet werden. In dieser Form ist der Transparenzkörper, bestehend aus dem Glaskörper

mit der Beschichtung, optisch teildurchlässig und kann sowohl zur Energieübertragung durch Wärmestrahlung als auch durch Wärmeleitung auf den Mehrschichtkörper eingesetzt werden.

In einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung steht mindestens eine Schicht mit einem Prozeßgas in Kontakt. Denkbar ist auch, daß der ganze Mehrschichtkörper dem Prozeßgas ausgesetzt ist. Das Prozeßgas wirkt während des Temperierens auf die Schicht bzw. auf einzelne Schichten oder den ganzen Mehrschichtkörper ein und ist an der Änderung der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Mehrschichtkörpers beteiligt. Als Prozeßgas kommt beispielsweise ein Inertgas (molekularer Stickstoff oder Edelgas) in Frage. Das Prozeßgas reagiert nicht mit einem Material der Schicht. Denkbar ist aber auch ein Prozeßgas, das mit einem Material der Schicht reagiert. Unter Einwirken des Prozeßgases bildet sich die funktionelle Schicht. Beispielsweise wirkt das Prozeßgas gegenüber einem Material der Schicht oxidierend oder reduzierend. Mögliche Prozeßgase dafür sind Sauerstoff, Chlor, Wasserstoff, elementares Selen, Schwefel oder ein Hydrid. Es kann auch ein ätzendes Prozeßgas wie HCL oder ähnliches sein. Weitere Beispiele für das Prozeßgas sind H_2S und H_2Se , die bei der Herstellung einer Dünnschichtzelle eingesetzt werden (siehe unten). Schließlich sind alle Gase oder auch Gasgemische denkbar, die in einer entsprechenden Weise mit einem Material einer Schicht reagieren.

Vorteilhaft ist es, wenn die Schicht einer definierten Prozeßgasatmosphäre ausgesetzt ist. Die definierte Prozeßgasatmosphäre umfaßt beispielsweise einen Partialdruck des oder der Prozeßgase während des Temperierens. Denkbar ist beispielsweise auch, daß eine Schicht oder der Mehrschichtkörper zum Temperieren mit Vakuum in Kontakt steht.

Eine definierte Prozeßgasatmosphäre läßt sich beispielsweise dadurch erreichen, daß das Prozeßgas mit einer bestimmten Geschwindigkeit an der Schicht vorbeigeleitet wird. Dabei kann ein Prozeßgas mit verschiedenen Partialdrücken im Verlauf des Temperierens auf die Schicht einwirken. Denkbar ist auch, daß nacheinander verschiedene Prozeßgase mit der Schicht des Schichtkörpers in Kontakt stehen.

Vorzugsweise ist zumindest die Schicht umschlossen, die mit dem Prozeßgas in Kontakt steht. Dies gelingt beispielsweise durch eine Umhüllung der Schicht, wobei die Umhüllung an der Trägerschicht befestigt sein kann. Die Umhüllung wird vor oder während des Temperierens mit dem Prozeßgas befüllt. Das Prozeßgas wird dabei auf einer Oberfläche der Schicht konzentriert, deren Eigenschaften durch das Prozeßgas beeinflusst werden soll. Auf diese Weise kann verhindert werden, daß eine Umgebung durch das Prozeßgas kontaminiert wird. Dies ist insbesondere bei einem korrosiven und/oder giftigen Prozeßgas wichtig. Außerdem kann mit einer für eine Umsetzung der Schicht nötigen stöchiometrischen Menge an Prozeßgas gearbeitet werden. Es wird Prozeßgas nicht unnötig verbraucht.

In einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung ist der Mehrschichtkörper in einem Behälter angeordnet. Dabei weist zumindest eine Wandung des Behälters einen Transparenzkörper auf. Der Behälter hat den Vorteil, daß er automatisch die Umhüllung des Schicht bzw. den ganzen Mehrschichtkörpers darstellt. Die Umhüllung braucht nicht am Mehrschichtkörper befestigt sein. Bei einem verschließbaren Behälter kann die Prozeßgasatmosphäre gezielt und leicht eingestellt werden. Beispielsweise bietet der Behälter ein genügend großes Volumen für das während des Temperierens benötigte Prozeßgas. Wenn das Temperieren eine homogene und reproduzierbare Verteilung des Prozeßgases über einer Schicht erfordert, kann auch gezielt ein Gasaus-

tritt aus dem Behälter eingestellt werden. Dies kann beispielsweise dann nötig, wenn mit einer sehr hohen Aufheizrate temperiert wird. Dabei expandiert das Prozeßgas. Wenn der Behälter dem dabei auftretenden Gasdruck nicht standhält, kommt es zu einer Verformung des Behälters oder sogar zur Zerstörung des Behälters. Eine Verformung sollte aber beispielsweise dann verhindert werden, wenn der Mehrschichtkörper auf dem Boden des Behälters aufliegt. Eine Verformung des Behälters führt wie oben beschrieben zu einer lateralen Temperaturinhomogenität im Mehrschichtkörper mit den entsprechenden Folgen.

Der Behälter kann zudem Transportmittel des Mehrschichtkörpers beim Temperieren sein. Der Behälter hat den Vorteil, daß während des Temperierens beispielsweise ein Bruch einer Schicht (Trägerschicht bzw. Substrat) aus Glas nicht ausgeschlossen werden kann. Bei einem Bruch eines solchen Substrats kann das zerbrochene Material leicht aus einer Anlage zum Temperieren des Mehrschichtkörpers entfernt werden. Dies trägt zu einer Prozeßstabilisierung der Anlage zum Temperieren bei.

Mit dem Behälter eignet sich die Vorrichtung insbesondere zum Durchführen des Temperierens in einem Durchlaufverfahren mit verschiedenen Verfahrensstufen. Dabei wird der Mehrschichtkörper beispielsweise in den Behälter gelegt. Mit dem Behälter wird der Mehrschichtkörper von Verfahrensstufe zu Verfahrensstufe transportiert. In einer ersten Verfahrensstufe wird der Behälter beispielsweise mit einem Prozeßgas befüllt. Dabei kann der Behälter in einer Kammer evakuiert, mit einem entsprechenden Prozeßgas befüllt und verschlossen werden. Denkbar ist dabei ein separater Ein- und Auslaß des Behälters zum Spülen oder Befüllen des Behälters mit dem Prozeßgas. In einer zweiten Verfahrensstufe findet das Temperieren statt. Dazu wird der Behälter aus der Kammer in eine Heizzone transportiert. Nach Beendigung des Temperierens wird der Mehrschichtkörper aus der Heizzone in eine Kühlzone befördert.

In einer besonderen Ausgestaltung ist die Wandung des Behälters, die den Transparenzkörper aufweist, ein Deckel und/oder ein Boden des Behälters. Beispielsweise liegt der Mehrschichtkörper mit einer Schicht direkt auf dem Transparenzkörper des Bodens auf. Der Transparenzkörper kann, wie oben beschrieben, Abstandshalter aufweisen. Der Deckel weist ebenfalls den Transparenzkörper auf, der beispielsweise nicht mit dem Mehrschichtkörper bzw. einer Schicht des Mehrschichtkörpers in Kontakt steht. Auf diese Weise kann die Schicht des Mehrschichtkörpers, die auf dem Boden aufliegt durch Wärmeleitung, die dem Deckel zugewandte Schicht durch Wärmestrahlung aufgeheizt werden. Die dem Deckel zugewandte Schicht kann leicht einem Prozeßgas ausgesetzt sein.

In einer weiteren Ausgestaltung ist der Boden und/oder der Deckel des Behälters von jeweils mindestens einem Mehrschichtkörper gebildet. Dabei ist die Schicht des Mehrschichtkörpers, die z. B. mit einem Prozeßgas in Berührung kommen sollen, in einen Innenraum des Behälters gerichtet. Diese Lösung ist möglich, wenn der Mehrschichtkörper bzw. die Schichten des Mehrschichtkörpers einen niedrigen Temperaturschwankungskoeffizienten aufweisen und/oder die Temperiertrate gering ist. Für eine hohe Temperiertrate verfügt der Mehrschichtkörper vorteilhaft über eine Trägerschicht mit einem hohen thermischen Leitfähigkeitskoeffizienten. Die Trägerschicht ist nach außen gerichtet. Beispielsweise ist hier die Trägerschicht ein oben beschriebener Transparenzkörper.

In einer besonderen Ausgestaltung weist der Behälter, der Transparenzkörper und/oder der Energietransmitter ein Material auf, das gegenüber einem Prozeßgas inert ist. Vorteilhaft ist überdies, daß eine gesamte Prozeßumgebung des

Temperierens inert gegenüber dem verwendeten Prozeßgas ist. Zur Prozeßumgebung zählt beispielsweise auch die Energiequelle (primäre Energiequelle).

Das Material wird in Abhängigkeit vom Prozeßgas gewählt. Denkbar ist beispielsweise Glas, Glaskeramik und Keramik. Ein faserverstärktes Material wie kohlefaserverstärkter Graphit kann ebenso verwendet werden. Denkbar ist auch ein Material wie SiC, das einen hohen thermischen Leitfähigkeitskoeffizienten aufweist. Der Behälter kann aus einem Metall oder einer Legierung bestehen. Ebenso ist ein bis zu einer bestimmten Temperatur beständiger Kunststoff möglich.

Neben einer chemischen Inertheit gegenüber dem Prozeßgas sind folgende Eigenschaften für das Material des Behälters von Vorteil:

- Das Material des Behälters ist unter den Bedingungen des Temperierens verwerfungsfrei. Es ist außerdem temperaturschockbeständig. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn es einen geringen Temperatúrausdehnungskoeffizienten aufweist.
- Der thermische Erweichungspunkt des Materials des Behälters liegt über einer maximalen Temperatur des Temperierens.
- Der Behälter zeigt eine geringe bzw. definierte Permeabilität gegenüber einem Prozeßgas.

In einer besonderen Ausgestaltung ist eine Einrichtung zur Detektion eines Ausmaßes zumindest eines vom Temperieren abhängigen physikalischen Parameters der Vorrichtung zur Regelung der ersten und zweiten Teilmenge der Energiemenge vorhanden.

Ein denkbarer Parameter ist eine Absorptions-, Transmissions- und/oder Reflexionseigenschaft einer Schicht. Das Ausmaß des Parameters ist der Wert des Parameters. Beispielsweise kann eine Wellenlänge eines Absorptionsmaximums von der Temperatur abhängen. Das Ausmaß des Parameters wäre in diesem Fall die entsprechende Wellenlänge.

Insbesondere ist der Parameter eine Temperatur des Mehrschichtkörpers. Dabei ist das Ausmaß ein Wert der Temperatur. Denkbar ist auch die Detektion der Temperatur einer Schicht des Mehrschichtkörpers, des Transparenzkörpers und/oder des Behälters bzw. einer Wandung des Behälters. Es kann während des Temperierens ständig zumindest ein Parameter des Mehrschichtkörpers und/oder einer Schicht detektiert werden. Beispielsweise wird aufgrund der detektierten Temperatur einer Schicht die Teilmenge der Energiemenge erhöht oder erniedrigt, die von der Schicht aufgenommen wird. Dadurch kann eine Temperaturinhomogenität bzw. ein Temperaturgradient in Dickenrichtung des Mehrschichtkörpers vermieden werden. Diese Temperaturinhomogenität kann aber auch, falls dies nötig sein sollte, erhöht werden.

Beispielsweise ist die Einrichtung zur Detektion der Temperatur ein Pyrometer sein, der auf die Schicht gerichtet ist. Das Pyrometer detektiert beispielsweise die Wärmestrahlung, die von der Schicht ausgesendet wird. Aufgrund der Wärmestrahlung kann auf die Temperatur der Schicht rückgeschlossen werden. Denkbar ist auch ein Temperaturdetektor, der mit der Schicht verbunden ist und durch Wärmeleitung temperiert wird.

Vorstellbar ist auch, daß die Temperatur der Schicht oder des Mehrschichtkörpers nicht unmittelbar gemessen, sondern mittelbar gemessen wird. Beispielsweise wird ein Pyrometer auf den Behälter gerichtet, in dem der Mehrschichtkörper temperiert wird. Die Temperatur des Behälters kann durch die Temperatur des Mehrschichtkörpers beeinflusst sein. Aufgrund der Temperatur des Behälters wird auf die

Temperatur der Schicht des Mehrschichtkörpers rückgeschlossen. Es wird die Energiemenge bzw. die Teilmenge der Energiemenge aufgrund der gemessenen Temperatur des Behälters geregelt. Dazu ist beispielsweise vor dem Temperieren eine Art "Eichmessung" durchzuführen, die einen Zusammenhang zwischen gemessener Temperatur der Behälters und tatsächlicher Temperatur der Schicht bzw. des Schichtkörpers wiedergibt. Die "Eichmessung" gibt einen Soll-Wert der Temperatur an. Der Ist-Wert wird detektiert. Ein Vergleich zwischen Soll-Wert und Ist-Wert liefert eine Regelungsgröße zur Regelung der Energiemengen.

Die Detektion (und auch die Regelung der Teilmengen der Energiemenge) erfolgt insbesondere mit einer örtlichen Auflösung in Dickenrichtung des Mehrschichtkörpers und mit einer zeitlichen Auflösung im zeitlichen Rahmen des Temperierens. Beispielsweise wird der Mehrschichtkörper mit einer Temperiertrate von 25°C/s aufgeheizt. Dann würden sowohl die Detektion als auch die Regelung der Teilmengen der Energiemenge so schnell stattfinden, daß ein Temperaturunterschied zwischen den Schichten des Mehrschichtkörpers während des Temperierens beispielsweise unter einen vorgeschriebenen Maximum bleibt.

Die Temperaturinhomogenität in Dickenrichtung kann in Verbindung mit einer transienten Verformung des Mehrschichtkörpers auch zu einer lateralen Temperaturinhomogenität im Mehrschichtkörper führen. Lateral bedeutet beispielsweise innerhalb einer Schicht des Mehrschichtkörpers senkrecht zur Dickenrichtung. Wie eingangs beschrieben, liegt der Mehrschichtkörper während des Temperierens beispielsweise auf einem Boden aus Graphit auf. Die Zufuhr bzw. die Aufnahme der Energiemenge durch die auf dem Boden aufliegende Schicht des Mehrschichtkörpers erfolgt durch Wärmeleitung. Durch eine Temperaturinhomogenität in Dickenrichtung kann eine transiente Verformung des Mehrschichtkörpers in Form einer Verbiegung des Mehrschichtkörpers auftreten. Dabei wird der für die Wärmeleitung notwendige Kontakt zwischen dem Mehrschichtkörper und dem Boden des Behälters teilweise gelöst. Infolge davon kommt es zu einer lateralen Temperaturinhomogenität der aufliegenden Schicht bzw. des Mehrschichtkörpers. Besonders vorteilhaft ist es daher, wenn zur Detektion des Parameters (und Regelung der Energiemengen) nicht nur in Dickenrichtung, sondern auch lateral eine örtliche Auflösung vorliegt.

In einer besonderen Ausgestaltung ist der Parameter eine Verformung des Mehrschichtkörpers. Aufgrund einer auftretenden Temperaturinhomogenität kann es zu einer Verformung kommen. Beispielsweise wird der Mehrschichtkörper konkav gekrümmt. Der Mehrschichtkörper liegt auf dem Boden beispielsweise eines Behälters auf. Durch eine konkave Verformung entsteht im Randbereich des Mehrschichtkörpers ein Abstand zwischen der Auflagefläche und dem Mehrschichtkörper. Ein Ausmaß einer derartigen Verformung kann beispielsweise mit einer Einrichtung zur Laserinterferometrie oder Laserlichtreflexion detektiert werden. Aufgrund des Ausmaßes findet die Regelung der Energiemengen statt. Vorteilhaft ist es, wenn das Ausmaß in einem frühen Stadium der Verformung erkannt wird und schnell darauf reagiert werden kann.

Für eine angesprochene Einrichtung zur Detektion eines Ausmaßes eine vom Temperieren abhängigen Parameters mit Hilfe einer optischen Einrichtung (z. B. Laser) ist es vorteilhaft, wenn die zu untersuchende Schicht für Licht der optischen Einrichtung zugänglich ist und ein Detektionssignal eindeutig dem zu detektierenden Parameter zuzuordnen ist. Die Wellenlänge eines Lasers sollte sich beispielsweise hinreichend von der Wärmestrahlung des Mehrschichtkörpers unterscheiden. Wenn die Vorrichtung mit einem Behälter

ter ausgestattet ist, wäre es vorteilhaft, wenn der Transparenzkörper für das Licht des Lasers genügend durchlässig ist.

Mit Hilfe der Vorrichtung ist es auch möglich, eine gewünschte Verformung des Mehrschichtkörpers zu erzielen. Dazu kann es auch sinnvoll sein, die Verformung während des Temperierens wie oben beschrieben zu verfolgen. Es kann zum Beispiel eine gekrümmte Dünnsolarmodul hergestellt werden. Zur gezielten Verformung wird beispielsweise der Mehrschichtkörper auf eine entsprechende Form bzw. Maske gelegt. Die Form bzw. Maske kann direkt eine Energiequelle sein. Der Mehrschichtkörper wird über einen Erweichungspunkt der Trägerschicht erwärmt. Als Folge davon nimmt der Mehrschichtkörper eine entsprechende Form der Maske bzw. der Form an. Die Maske ist beispielsweise in einem Boden des Behälters integriert. Die Maske könnte z. B. der Transparenzkörper sein.

Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zum Temperieren eines Mehrschichtkörpers angegeben, der eine erste und mindestens eine zweite Schicht aufweist, durch Aufnahme einer Energiemenge durch den Mehrschichtkörper mit einer Aufnahme einer ersten Teilmenge der Energiemenge durch die erste Schicht und einer Aufnahme einer zweiten Teilmenge der Energiemenge durch die zweite Schicht, wobei zumindest eine Energiequelle zum Zuführen der Energiemenge auf den Mehrschichtkörper verwendet wird. Dabei wird insbesondere eine zuvor beschriebene Vorrichtung verwendet. Die Verfahrensschritte sind: Anordnen des Mehrschichtkörpers zwischen einer ersten und mindestens einer zweiten Energiequelle, so daß die erste Schicht zwischen der ersten Energiequelle und der zweiten Schicht und die zweite Schicht zwischen der zweiten Energiequelle und der ersten Schicht angeordnet ist, wobei als Energiequelle zumindest eine Energiequelle für eine bestimmte elektromagnetische Strahlung mit einem Strahlungsfeld verwendet wird, und zumindest eine der Schichten die elektromagnetische Strahlung absorbiert und im Strahlungsfeld der Energiequelle angeordnet wird, und Anordnen eines Transparenzkörpers im Strahlungsfeld der Energiequelle zwischen der Energiequelle und der Schicht, die im Strahlungsfeld der Energiequelle liegt und die die bestimmte elektromagnetische Strahlung absorbiert und Temperieren des Mehrschichtkörpers.

In einer besonderen Ausgestaltung absorbiert der Transparenzkörper eine bestimmte Energiemenge und führt die Energiemenge der Schicht zu. In einer weiteren Ausgestaltung wird während des Temperierens ein Detektieren eines vom Temperieren abhängigen Ausmaßes eines physikalischen Parameters des Mehrschichtkörpers zur Regelung der Aufnahme der Energiemenge während des Temperierens und Regelung der ersten und zweiten Teilmengen der Energiemenge durchgeführt. In einer besonderen Ausgestaltung führt der Transparenzkörper die Schicht die Energiemenge durch Wärmeleitung und/oder Wärmestrahlung zu.

Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein Mehrschichtkörper vorgestellt, der nach dem zuvor beschriebenen Verfahren hergestellt wird. Der Mehrschichtkörper weist eine erste Schicht auf, die zumindest Kupfer, Indium, Gallium, Schwefel und Selen aufweist. Eine zweite Schicht weist Glas auf. Ein lateraler Durchmesser des Mehrschichtkörpers ist aus einem Bereich zwischen 0,3 m und 5 m ausgewählt.

Der angegebene Mehrschichtkörper ist beispielsweise ein Dünnsolarmodul bzw. ein Dünnsolarmodul, das aus einer Vielzahl von seriell verschalteten einzelnen Dünnsolarmodulen besteht. Das Glas ist vorzugsweise Sodalime-Glas. Die entsprechende Schicht fungiert als Trägerschicht.

Auf der Trägerschicht ist eine Molybdänschicht als Elektrode und über der Molybdänschicht eine funktionelle Schicht, nämlich eine Kupfer-Indium-Gallium-Sulfo-Selenid(CIGSSe)-Halbleiterschicht, aufgetragen. Eine Dicke des Schichtkörpers, bestehend aus Glaskörper und Halbleiterschicht beträgt typischerweise 2 bis 4 mm, mit einer Molybdänschicht von ca. 0,5 µm und einer Halbleiterschicht von ca. 3 µm. Der angegebene Bereich für die Dicke des Mehrschichtkörpers ist nicht ausschließlich zu verwenden. Begrenzender Faktor ist eine Fähigkeit, ein großes Substrat herzustellen, das möglichst plan ist und damit mit der beschriebenen Vorrichtung bzw. mit dem beschriebenen Verfahren zu einem Mehrschichtkörper verarbeitet werden kann.

Zusammengefaßt ergeben sich mit der Erfindung folgende Vorteile:

- Es kann ein großflächiger Mehrschichtkörper mit einem unsymmetrischen Schichtaufbau (z. B. Mehrschichtkörper mit einer einzigen Schicht auf einer Trägerschicht) mit einer hohen Temperierrate von über 1°C/s.
- Die Schichten des Mehrschichtkörpers können dabei einen stark unterschiedlichen thermischen Leitfähigkeitskoeffizienten aufweisen.
- Durch eine zeitliche und örtliche Auflösung der Detektion und der Regelung eines Ausmaßes eines vom Temperieren abhängigen Parameters können gelingt ein Temperieren besonders sicher.
- Das Temperieren bis nahe eines Erweichungspunkts einer Trägerschicht ist möglich.
- Beim Temperieren über den Erweichungspunkt der Trägerschicht ist eine permanente Verformung des Mehrschichtkörpers möglich.
- Durch die Verwendung eines Behälters kann eine definierte Temperierungsumgebung mit einer definierten Prozeßgasatmosphäre geschaffen werden. Insbesondere kann ein toxisches und/oder korrosives Prozeßgas eingesetzt werden.
- Das Verfahren kann in einer Durchlaufanlage mit einem hohen Durchsatz durchgeführt werden.

Anhand eines Ausführungsbeispiels und der dazugehörigen Figuren wird eine Vorrichtung zum Temperieren eines Mehrschichtkörpers und ein entsprechendes Verfahren dazu vorgestellt. Die Figuren sind schematisch und stellen keine maßstabsgetreuen Abbildungen dar.

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt einer Vorrichtung zum Temperieren eines Mehrschichtkörpers von der Seite.

Fig. 2 zeigt einen Querschnitt einer Vorrichtung zum Temperieren mit einem Behälter, in dem der Mehrschichtkörper angeordnet ist.

Fig. 3 zeigt einen Querschnitt einer Vorrichtung zum Temperieren mit einem Behälter, in dem der Mehrschichtkörper und ein Energietransmitter angeordnet sind.

Fig. 4 zeigt ein Ausschnitt eines Transparenzkörpers.

Fig. 5a und 5b zeigen eine Einrichtung zur Detektion des Ausmaßes einer Verformung des Mehrschichtkörpers.

Fig. 6 zeigt ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Temperieren eines Mehrschichtkörpers.

In den Ausführungsbeispielen wird ein Dünnsolarmodul 1 hergestellt. Das Dünnsolarmodul weist eine Grundfläche von 850 × 600 mm² auf. Die Dicke des Solarmoduls beträgt 3 mm, wobei auf einer Trägerschicht aus Sodalime-Glas 2 eine 0,5 µm dicke Schicht aus Molybdän 3 und eine 0,5 µm dicke Kupfer-Indium-Gallium-Sulfo-Selenid(CIGSSe)-Halbleiterschicht 4 hergestellt wird.

Vor dem Temperieren weist der Mehrschichtkörper 1 fol-

genden Schichtaufbau auf: Sodalime-Glas/Molybdän/Kupfer(Gallium)/Indium/Selen. Sodlime-Glas fungiert als Trägerschicht 2 der Molybdänschicht 3 und der mehrlagigen Schicht 4. In die Kupferschicht ist Gallium eingelagert. Als Prozeßgas 16 wird ein Gasgemisch aus Schwefelwasserstoff, Helium und Wasserstoff verwendet. Gasförmiges Selen bzw. Selenwasserstoff wird im Verlauf des Temperierens gebildet.

Gemäß einer ersten Ausführungsform wird der Mehrschichtkörper auf einen Transparenzkörper 5 aus Glaskeramik gelegt (Fig. 1). Der Transparenzkörper weist eine Vielzahl von Abstandshaltern 6 aus dem gleichen Material auf, aus dem der Transparenzkörper 5 besteht (Fig. 4). Der Transparenzkörper 5 befindet sich zwischen der Trägerschicht 2 der Dünnsolarmodul bzw. dessen Ausgangsform 1 und eine Energiequelle 7. Die Energiequelle 7 besteht aus mehreren nebeneinander zu einer Matrix angeordneten Arrays aus Halogenlampen. Die Matrix liefert ein homogenes Strahlungsfeld 8. Der Transparenzkörper 5 befindet sich im Strahlungsfeld 8 der Energiequelle 7. Er absorbiert einen Teil der elektromagnetischen Strahlung 9 der Energiequelle und gibt die absorbierte Energiemenge durch Wärmeleitung 10 an die Trägerschicht 2 weiter. Die Glas-schicht 2 wird in erster Linie durch die Wärmeleitung 10 temperiert.

Zwischen einer zweiten Energiequelle 11 und der Selen-schicht (äußerste Beschichtung der Schicht 4) ist eine zweite Transparenzkörper 12 aus Glaskeramik angeordnet. Die zweite Energiequelle 11 ist genauso wie die erste Energiequelle 11 als Matrix gestaltet. Der zweite Transparenzkörper 12 absorbiert einen Teil der elektromagnetischen Strahlung 13 der zweiten Energiequelle 11. Ein Teil der dabei aufgenommenen Energiemenge wird in Form von Wärmestrahlung 14 an die mehrlagige Schicht 4 abgegeben. Der Transparenzkörper 12 zeigt auch eine Transmission für die elektromagnetische Strahlung 13, so daß diese Strahlung auf die mehrlagige Schicht 4 auftrifft. Die mehrlagige Schicht 4 liegt im Strahlungsfeld 15 der Energiequelle 13. Die mehrlagige Schicht 4 wird in erster Linie durch Wärmestrahlung 14 temperiert.

Der Mehrschichtkörper 1 wird in einem Behälter 17 in oben beschriebener Weise angeordnet (Fig. 2). Der Deckel 18 und der Boden 19 werden von den Transparenzkörpern 5 und 12 gebildet. Eine seitliche Wandung 20 des Behälters 17 besteht aus Kohlenfaserverstärktem Kohlenstoff (CFC).

Nach dem Ablegen des Mehrschichtkörpers auf der Bodenplatte wird der Behälter mit dem Prozeßgas befüllt und verschlossen. Danach erfolgt das Temperieren mit einer Temperiertrate von 5°C/s, wobei die Energiequelle 7 und 11 getrennt geregelt werden.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel zeichnet sich dadurch aus, daß ein Energietransmitter 26 in der Box integriert ist (Fig. 3).

Für die Energiequelle 7 kommt folgender Regelkreis zum Einsatz: Ein laterales Ist-Temperaturprofil des Transparenzkörpers 5 wird mit einem Pyrometer in Form eines Infrarotsensor geeigneter Wellenlänge gemessen. Durch die Auflage des Mehrschichtkörpers kann mittels einer Kalibrierung aus dem Temperaturprofil des Transparenzkörpers das Temperaturprofil der Trägerschicht 2 bestimmt werden. Durch einen Regelalgorithmus über Ist- und Soll-Wert der Temperatur des Transparenzkörpers wird ein Regelsignal bestimmt, mit dem die Strahlungsleistung der Energiequelle 7 geregelt wird.

Eine Regelgröße für einen Regelkreis zur Steuerung des Energiequelle 11 ist eine transiente Verbiegung 21 der Trägerschicht 2. Die Verbiegung 21 wird durch Laserinterferometrie an der Substratseite 22 oder Schichtseite 23 gemessen.

sen. Meßpunkte sind die Substratmitte 24 und eine Ecke 25 des Mehrschichtkörpers. Bei der Laserinterferometrie wird die durch eine Verbiegung hervorgerufene Abstandsänderung gemessen und daraus das Regelsignal für die zugehörige Energiequelle ermittelt.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die Regelgröße für die Energiequelle 11 die Temperatur des Transparenzkörpers 12.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Temperieren eines Mehrschichtkörpers (1), der eine erste Schicht (2, 3, 4) und mindestens eine zweite Schicht (2, 3, 4) aufweist, durch Aufnahme einer Energiemenge durch den Mehrschichtkörper (1) mit einer Aufnahme einer ersten Teilmenge der Energiemenge durch die erste Schicht (2, 3, 4) und einer Aufnahme einer zweiten Teilmenge der Energiemenge durch die zweite Schicht (2, 3, 4), aufweisend

– mindestens eine Energiequelle (7, 11) der Energiemenge,

dadurch gekennzeichnet, daß

– die erste Schicht (2) zwischen einer ersten Energiequelle (7) und der zweiten Schicht(4) und die zweite Schicht (4) zwischen einer zweiten Energiequelle (11) und der ersten Schicht (2) angeordnet ist,

– mindestens eine der Energiequellen (7, 11) eine Emission einer bestimmten elektromagnetischen Strahlung (13) mit einem Strahlungsfeld (9, 15) aufweist,

– mindestens eine der Schichten (2, 4) eine bestimmte Absorption für die elektromagnetische Strahlung (8, 13) aufweist und in dem Strahlungsfeld (9, 15) angeordnet ist,

– in dem Strahlungsfeld (9, 15) zwischen der Energiequelle (7, 11) mit dem Strahlungsfeld und der Schicht (2, 4), die die Absorption der elektromagnetischen Strahlung aufweist und die im Strahlungsfeld angeordnet ist, mindestens ein Transparenzkörper (5, 12) angeordnet ist, der eine bestimmte Transmission und eine bestimmte Absorption für die elektromagnetische Strahlung aufweist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei eine Schicht (2) eine Trägerschicht zumindest einer weiteren Schicht (4) ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei eine Schicht (2, 4) des Mehrschichtkörpers (1) ein Material aufweist, das aus der Gruppe Glas, Glaskeramik, Keramik, Kunststoff und/oder Metall ausgewählt ist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei mindestens ein Energietransmitter (26) zur Übertragung der Energiemenge auf den Mehrschichtkörper (1) vorhanden ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Transparenzkörper (5, 12) mindestens einen Abstandshalter (6) aufweist, an dem der Mehrschichtkörper (1) anliegt, zur Aufnahme einer lateralen homogenen Energiemenge durch den Mehrschichtkörper (1).

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Transparenzkörper (5, 12) eine Vielzahl von Abstandshaltern (6) aufweist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, wobei der Transparenzkörper (5, 12) und/oder der Abstandshalter (6) ein Material aufweist, das aus der Gruppe Glas und/oder Glaskeramik ausgewählt ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wo-

bei mindestens eine Schicht (2, 3, 4) mit einem Prozeßgas (16) in Kontakt steht.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei zumindest die Schicht, die mit dem Prozeßgas (16) in Kontakt steht, umschlossen ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei

- der Mehrschichtkörper (1) in einem Behälter (17) angeordnet ist und
- zumindest eine Wandung (18, 19, 20) des Behälters (17) den Transparenzkörper (5, 12) aufweist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, wobei die Wandung, die den Transparenzkörper (5, 12) aufweist, ein Deckel (18) und/oder ein Boden (19) des Behälters (17) ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, wobei der Behälter (17), der Transparenzkörper (5, 12) und/oder der Energietransmitter (26) ein Material aufweist, das gegenüber dem Prozeßgas (16) inert ist.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei mindestens eine Einrichtung (27) zur Detektion eines Ausmaßes (21) zumindest eines vom Temperieren abhängigen physikalischen Parameters der Vorrichtung zur Regelung der ersten und zweiten Teilmenge der Energiemenge vorhanden ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, wobei der Parameter eine Temperatur der Vorrichtung ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei die Temperatur eine Temperatur des Mehrschichtkörpers ist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, wobei der Parameter eine Verformung des Mehrschichtkörpers ist.

17. Verfahren zum Temperieren eines Mehrschichtkörpers, der eine erste und mindestens eine zweite Schicht aufweist, durch Aufnahme einer Energiemenge durch den Mehrschichtkörper mit einer Aufnahme einer ersten Teilmenge der Energiemenge durch die erste Schicht und einer Aufnahme einer zweiten Teilmenge der Energiemenge durch die zweite Schicht, wobei zumindest eine Energiequelle zum Zuführen der Energiemenge auf den Mehrschichtkörper verwendet wird, insbesondere unter Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, mit den Verfahrensschritten:

- a) Anordnen des Mehrschichtkörpers zwischen einer ersten und mindestens einer zweiten Energiequelle,
 - so daß die erste Schicht zwischen der ersten Energiequelle und der zweiten Schicht und die zweite Schicht zwischen der zweiten Energiequelle und der ersten Schicht angeordnet ist,
 - wobei als Energiequelle zumindest eine Energiequelle für eine bestimmte elektromagnetische Strahlung mit einem Strahlungsfeld verwendet wird,
 - und zumindest eine der Schichten die elektromagnetische Strahlung absorbiert und im Strahlungsfeld der Energiequelle angeordnet wird, und
- Anordnen eines Transparenzkörpers im Strahlungsfeld der Energiequelle zwischen der Energiequelle und der Schicht, die im Strahlungsfeld der Energiequelle liegt und die die bestimmte elektromagnetische Strahlung absorbiert und

b) Temperieren des Mehrschichtkörpers.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei zum Temperieren der Transparenzkörper eine bestimmte Energiemenge absorbiert und der Schicht zugeführt.

19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, wobei während des Temperierens ein Detektieren eines vom Temperieren abhängigen Ausmaßes eines physikalischen Parameters der Vorrichtung zur Regelung der Aufnahme der Energiemenge während des Temperierens und eine Regelung der Energiemenge durchgeführt wird.

20. Verfahren nach Anspruch 15, wobei der Transparenzkörper der Schicht die Energiemenge durch Wärmeleitung und/oder Wärmestrahlung zugeführt.

21. Mehrschichtkörper, hergestellt nach Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, wobei eine erste Schicht zumindest Kupfer, Indium, Gallium, Schwefel und Selen und eine zweite Schicht Glas aufweist, wobei der Mehrschichtkörper einen lateralen Durchmesser aufweist, der aus dem Bereich zwischen 0,3 m und 5 m ausgewählt ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

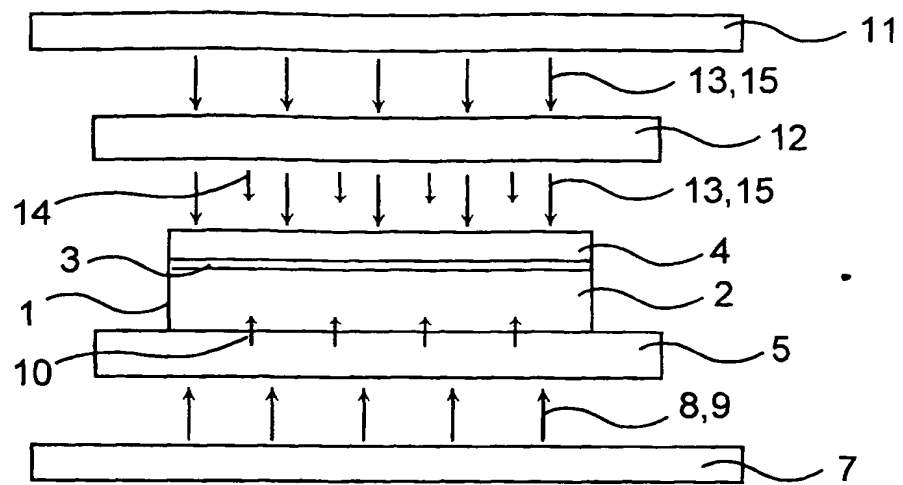


FIG 1

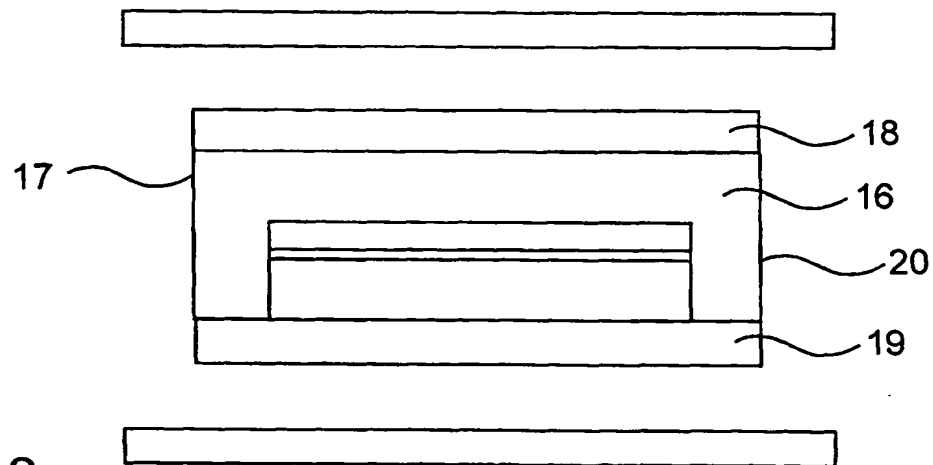
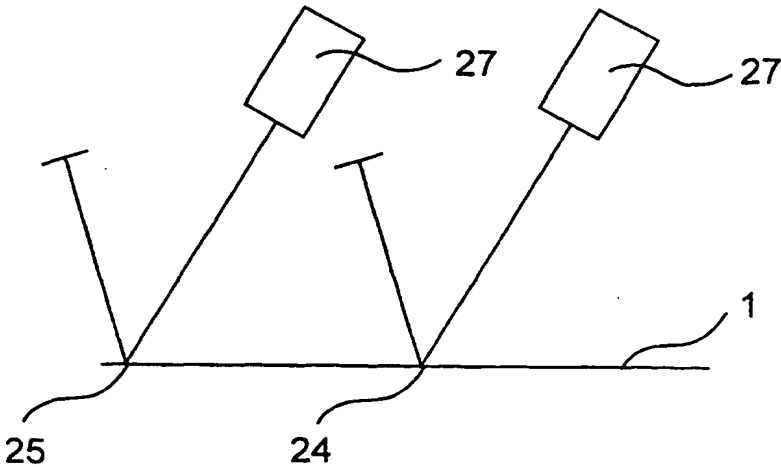
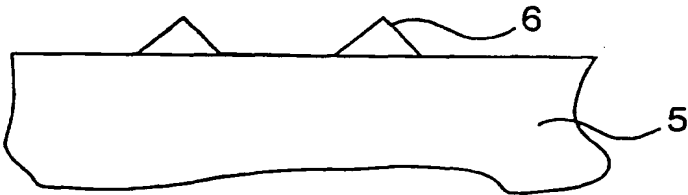
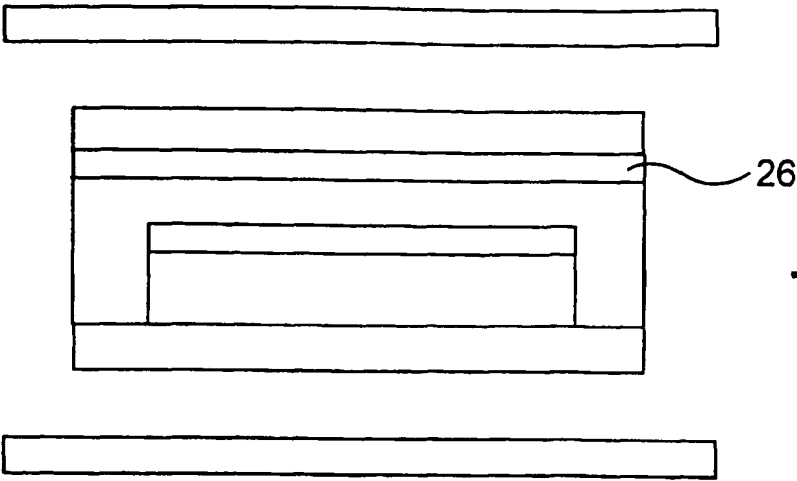


FIG 2



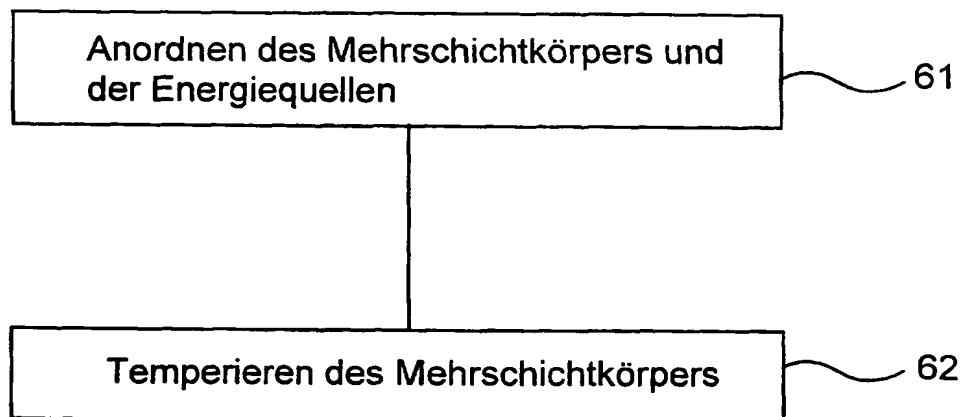
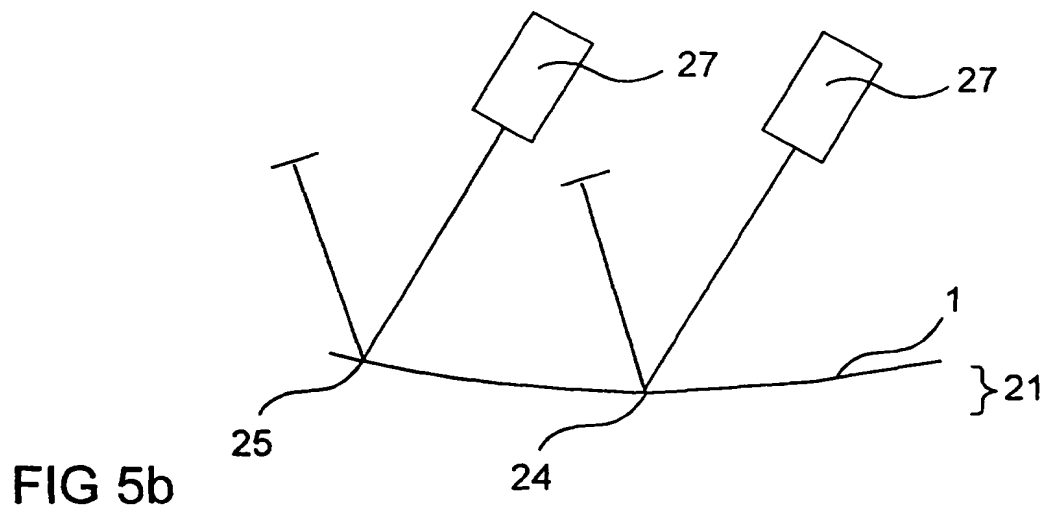


FIG 6